

OVERSEAS REPORT

米国メリーランド大学
における表面研究

岩崎 裕

大阪大学産業科学研究所
〒567 茨木市美穂ヶ丘 8-1

(1985年4月5日 受理)

Surface Research in the University
of Maryland

Hiroshi IWASAKI

The Institute of Scientific and Industrial
Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567

(Received April 5, 1985)

メリーランド大学の表面研究は、物理及び天文学部の固体物理グループ(実験系と理論系よりなる)の表面物理サブグループで行なわれている。サブグループといっても、公的な固定された組織ではなく、お互いの研究目的の遂行のために協力しあってできあがっているようである。したがって、あえて代表格の教授を挙げるなら、Robert L. Park 教授である。表面物理サブグループは、実験系と理論系にまたがった比較的大きなグループで、教授4、客員教授1、研究員3、大学院生8~10で構成されている。

メリーランド大学での表面研究の特徴は、単純な原理に基づいて固体表面の本質的な情報を引出すことにある。それを実験家と理論家が共同して行なっているのも特徴といえよう。又これは、メリーランド大学の特徴というより平均的な日本の研究環境との違いということになるが、一般的・専門的な研究上の情報交換が非常に活発である。情報のアンテナを敏感に働かせながら、特徴のある仕事をしていく姿勢は、表面研究分野での自分達の持ち場を強く意識することからきているのであろう。

研究内容を大づかみに紹介すると、1) 低速電子回折(LEED)による表面相転移や表面ステップ、2) 低速電子のエピタキシャル薄膜透過率にみられる量子サイズ効果(QSE)による薄膜、3) 極低温物理吸着状態から化学吸着への移行、4) 出現(消滅)電位分光法((D)APS)による薄膜の電子状態、5) 内殻の電子励起にみられる広域微細構造(EFS)による表面原子構造、の各研究と、

6) 走査トンネル顕微鏡(STM)の製作、が行なわれている。

以下に、各内容を説明しよう。

1) LEED による表面相転移・表面ステップの研究。表面相転移は、低次元の相転移という物理的興味と同時に、表面構造・吸着構造やエピタキシャル成長条件の理解に役立つため、最近盛んに研究されている。又、表面ステップも、それらの触媒作用への重大な効果に加えて、表面のもつより多彩な性質が展開される自由度の一つとして、その挙動を理解しようという動きが明らかとなってきた。LEED で測定される強度は、表面格子の2点間(運動学的な場合)又はそれ以上の点の間の相関関数のフーリエ変換であるので、LEED では本来的に表面の秩序が観測されている。メリーランドでは、実験的には電子銃を改良して可干渉域を拡げ、より長距離での秩序性の温度変化を調べる努力と、理論的にはモンテカルロ法による LEED 実験のシミュレートが行なわれている。理論における最近の成果として、大学院生の Bartelt らが、LEED 積分強度から比熱臨界指数 α が求められることを明らかにした。実験対象は、Cl/Ag (001)、O/Ni (111)、Si (111) 及び斜め研磨面等である。筆者らも、鏡面反射ビームを除く低速電子反射電流を測定して、Si (111) $7 \times 7 \rightarrow 1 \times 1$ 相転移の研究を行なった。

2) 量子サイズ効果(QSE)によるエピタキシャル薄膜の研究。単結晶基板上にエピタキシャル成長した薄膜(最大 200 \AA 程度まで)に低速電子(十数 eV 以下)を入射すると、その反射(又はその表裏の関係にある透過)率は表面での反射波と基板との界面で反射された波の干渉により、入射エネルギーと膜厚に依存して大きくなったり小さくなったりする。これは、電子の波長と系の寸法(膜厚)が同じオーダーの大きさとなったために引き起されているので、量子サイズ効果と呼ばれる。低エネルギーであることにより電子の非弾性散乱に対する平均自由行程が長く、又直進及び鏡面反射しか生じないので問題を一次元的に取扱うことができる利点がある。このような電子が界面まで到達して反射された波が引起す干渉効果であるので、他の手段では得られない比較的厚い膜の界面の急峻さと膜の間隙に敏感なスペクトル(透過率対入射エネルギー)が観測される。筆者らは、Ni (001) 面に Cu を一分子層ずつ 15 分子層まで Cu (001) 膜をエピタキシャル成長させ、各分子層数に一つ一つに対応するスペクトルを得た。一次元 LEED 多重散乱理論を多層膜の場合に拡張して、イオンの散乱パラメータを Cu, Ni の (001) 方向のバンド構造を再現するように決めたものを用いて、実験結果を細部に至るまで再現することができた。超薄膜や超格子により、望み通りの性質を表

面に付与することが現実のものとなってきた現在、本手法は今後大きく発展するものと思われる。

3) 前駆的吸着状態から化学吸着への移行。Ni (111) 表面上の酸素の極低温物理吸着から化学吸着への活性化過程が、仕事関数変化により明らかにされた。ユニークなクライオスタットを用いて、単結晶試料としては最も低い 5.5 K を実現することによって、この系ではじめて化学吸着の前駆状態が見出され、活性化エネルギー 13 meV が求められた。

4) (D) APS による薄膜表面の電子構造。入射電子のエネルギーが、ある内殻単位をイオン化する大きさに達すると、生じたホールを緩和するオージェ電子の信号やそのカスケード過程で生じる真の 2 次電子の強度が立ち上がり、一方弾性散乱電子強度は落ち下がる。前者が APS、後者が DAPS で観測される。メリーランドではこれらの方法により、Cu 上の Ti 蒸着膜の結晶性があること (LEED でみて) と、Ti のフェルミレベルより上の空の表面単位の強度の増大とがよく対応していることを見出した。

5) EFS による表面原子間距離。内殻単位のイオン化の終状態がフェルミ単位より上 100~500 eV では、終状態が周りの原子により散乱されることによる干渉効果のため、イオン化確率が終状態のエネルギーに依存して大きくなったり小さくなったり変調される。X線吸収にみられるこの変調効果は、EXAFS としてよく知られている。メリーランドでは、電子励起に伴う同様な効果を系統的に研究している。イオン化確率の変調を、(D)

APS スペクトルの微細構造 (EFS) から調べる方法と、エネルギー損失スペクトルの特定のイオン化損失に伴う EFS で調べる方法 (イタリアのグループが始めた) がある。前者では入射電子の回折効果が、後者では多くの物質のプラズモン損失が、それぞれスペクトルに強い影響を与える実験上の困難がある。前者に対して、K 又は L 殻のイオン化に対しては、モニターしている強度のエネルギーに対する微分は、入射電子がフェルミ準位のすぐ上に遷移してその際放出されるエネルギーで内殻単位が励起される過程が選択的に反映されることが理論的に明らかにされた。これは、同手法が EXAFS と同等の情報を与える基礎として重要である。筆者らは、Ni (001) 面等で、エネルギー損失スペクトルにみられる EFS を、LEED 光学系を用いて始めて観測し、それが電子を収集する立体角の異なる CMA の結果と一致することを明らかにした。

6) STM の製作。Ellen D. Williams 教授が、NSF のサポートを受けて製作にとりかかっている。IBM や NBS と充分情報交換しながら進めている。

おわりに、研究環境について述べる。まず学内では、学部やグループ間の境界は意識されず、表面の問題や他の問題で興味をもった人同志絶えず議論し合っている。又、近くの大きな表面研究グループのある NBS をはじめ Naval Research Laboratory 等の研究所と密接な交流があり、まわりもちで、Greater Washington Surface Science Seminar が開催されている。